

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    9 月 1 7 日  
Date of Application:

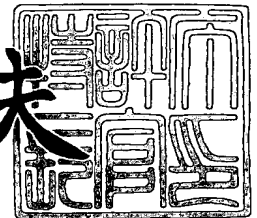
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 3 2 4 6 8 8  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 3 2 4 6 8 8 ]

出      願      人                      キヤノン株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 2 8 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 255102  
【提出日】 平成15年 9月17日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/00  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内  
    【氏名】 浅野 俊哉  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内  
    【氏名】 柴田 雄吾  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000001007  
    【氏名又は名称】 キヤノン株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100076428  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 大塚 康德  
    【電話番号】 03-5276-3241  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100112508  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 高柳 司郎  
    【電話番号】 03-5276-3241  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100115071  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 大塚 康弘  
    【電話番号】 03-5276-3241  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100116894  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 木村 秀二  
    【電話番号】 03-5276-3241  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2002-287056  
    【出願日】 平成14年 9月30日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 003458  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 0102485

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

位置決め装置であって、  
位置決めすべき構造物と、  
前記構造物の位置決めのために移動する移動体と、  
前記構造物と前記移動体との間に電磁的に力を作用させることにより、前記構造物と前記移動体との間に間隙を形成しつつ前記移動体の移動に伴って前記構造物が移動することを可能にする電磁機構とを備え、  
前記電磁機構は、  
前記構造物の目標位置と実際位置との偏差に基づいてフィードバック制御される第 1 電磁アクチュエータと、  
前記構造物の目標位置に基づいてフィードフォワード制御される第 2 電磁アクチュエータと、を有し、  
前記第 1 及び第 2 電磁アクチュエータは、各々、  
同一線上において互いに反対の方向に力を発生するように配置された一対の電磁石と、  
前記一対の電磁石の各々と対向して配置された一対のターゲットと、  
を有し、前記電磁石と前記ターゲットとの間において、前記電磁石が発生する磁束による吸引力が前記ターゲットに作用することを特徴とする位置決め装置。

**【請求項 2】**

少なくとも 1 つの前記ターゲットは、少なくとも 2 つの前記電磁石によって共用されるように配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の位置決め装置。

**【請求項 3】**

前記フィードバック制御では、前記偏差を低減するために前記第 1 電磁アクチュエータが発生すべき力の平方根に前記第 1 電磁アクチュエータにおける前記電磁石と前記ターゲットとの間の間隙に相当する補正項を乗じた値に従って前記電磁石のコイルに流す電流を制御することを特徴とする請求項 1 に記載の位置決め装置。

**【請求項 4】**

前記フィードフォワード制御では、前記構造物の目標位置を前記第 2 電磁アクチュエータの前記電磁石が発生すべき磁束の指令値に変換し、該指令値と前記電磁石が発生している磁束の値との差分に基づいて前記電磁石を制御することを特徴とする請求項 1 に記載の位置決め装置。

**【請求項 5】**

前記一対の電磁石の一方の電磁石を駆動しているときは他方の電磁石を駆動しないことを特徴とする請求項 1 に記載の位置決め装置。

**【請求項 6】**

前記装置は、前記第 1 電磁アクチュエータを 2 組備え、前記第 2 電磁アクチュエータが前記 2 組の第 1 電磁アクチュエータの間に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の位置決め装置。

**【請求項 7】**

前記第 2 電磁アクチュエータが発生する力の力線が、前記構造物の重心を通る線と一致していることを特徴とする請求項 1 に記載の位置決め装置。

**【請求項 8】**

前記第 1 電磁アクチュエータと前記ターゲットの間隔は前記第 2 電磁アクチュエータと前記ターゲットの間隔以上あることを特徴とする請求項 1 に記載の位置決め装置。

**【請求項 9】**

前記移動体の両端に配置されて前記移動体を駆動する 2 つの駆動機構を更に備え、前記 2 つの駆動機構は、前記構造物の位置に応じて分配される推力でそれぞれ前記移動体を駆動することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の位置決め装置。

**【請求項 10】**

前記推力は、前記構造物から前記移動体を受ける反力によって生じる前記移動体の重心

周りの力のモーメントを打ち消すように分配されることを特徴とする請求項 9 に記載の位置決め装置。

【請求項 1 1】

前記推力は、前記構造物と前記移動体とを一体物としたときの重心位置に基づいて分配されることを特徴とする請求項 1 0 に記載の位置決め装置。

【請求項 1 2】

前記推力は、前記構造物の重心位置と前記移動体の重心位置とに基づいて分配されることを特徴とする請求項 1 0 に記載の位置決め装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 乃至請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の位置決め装置を利用して、位置決め対象物を位置決めし露光動作を実行することを特徴とする露光装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の露光装置を利用して、  
基板にパターンを転写する工程と、  
前記基板を現像する工程と、  
を含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

**【書類名】 明細書****【発明の名称】 位置決め装置及び露光装置並びにデバイスの製造方法****【技術分野】****【0001】**

本発明は、位置決め装置、特に露光装置に搭載される位置決め装置並びにデバイスの製造方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

露光装置は、ウエハを移動させるステージ装置を有する（例えば、特許文献1参照）。このステージ装置においては、ステージ定盤上にはヨーガイドとステージ定盤でガイドされるYスライダが載せられている。Yスライダとステージ定盤およびヨーガイドとの間には、エアパッドが設けられている。

**【0003】**

また、Yスライダを囲むようにXスライダが設けられている。Yスライダの側面とXスライダの側面との間には、エアパッドが設けられている。Xスライダとステージ定盤との間にもエアパッドが設けられている。この構成により、YスライダはY方向に滑動自在であり、XスライダはYスライダに対してX方向に滑動自在なので、XスライダはX、Y方向に滑動自在である。

**【0004】**

Xスライダ、Yスライダの駆動にはリニアモータが用いられる。Xスライダ、Yスライダ駆動用のリニアモータは、コイル固定、磁石可動型のものであり、磁石位置に応じてコイルを選択し、電流の大きさと方向を適切に制御することで長ストロークの駆動を実現する。

**【特許文献1】 特許第3145355号公報****【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

このようなステージ装置は、長ストロークにわたって高精度な位置制御が可能である。ところで、このようなステージ装置において、Xスライダ上に、Xスライダに対してX、Y、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ の各方向に基板保持プレートを微動可能な6軸微動ステージを搭載する場合には、Xスライダより先、つまりXスライダと微動ステージのトータルの質量が増加してしまうことになる。露光装置では、生産性を高めるために大きな加速度でステージを加速する必要があるが、Xスライダと微動ステージのトータルの質量が増加すると、加速度が同一でも加速に必要な力は質量に比例して増加する。

**【0006】**

上述したステージ装置の構成では、Xスライダと微動ステージを例えばY方向に加速するための力は、Yリニアモータで発生される。そして、この力の一部がエアパッドを介してXスライダと微動ステージに伝達される。具体的には、Yスライダ系の質量を $m_1$ 、Xスライダ系の質量を $m_2$ 、微動ステージ系の質量を $m_3$ 、加速度を $\alpha$ とすると、2本のYリニアモータで $(m_1 + m_2 + m_3) \times \alpha$ の力を発生し、このうちの $(m_2 + m_3) \times \alpha$ の力がYスライダの側面とXスライダの側面との間のエアパッドを介してXスライダと微動ステージに伝達されることになる。

**【0007】**

問題は、このエアパッドの力伝達能力である。エアパッドによる力伝達は圧力換算で $1 \text{ kgf/cm}^2$ 程度にとどまっている。よって微動ステージの追加によりXスライダに伝達すべき力が増加すると、このエアパッドの力伝達能力を越えることが想定される。かといって、斯かるエアパッドを転がりタイプのガイドにするのは、寿命の問題や発塵の問題があって、露光装置のように長期間の連続稼動とクリーン度が要求される装置においては、非常に困難である。

**【0008】**

さらに、最近ではより微細なパターンを露光するために真空雰囲気での使用に適合したステージ装置が要求されているが、真空雰囲気エアパッドを構成しようとすると周辺にエアを回収する手段を設ける必要がある。このような手段の周辺部は推力伝達に寄与しないので圧力換算での推力伝達能力はますます低下する傾向となる。

【0009】

また、上述したステージ装置の構成では、XスライダとYスライダとの間の非接触ガイドが静圧軸受などエアベアリングで構成されているため、ばね剛性によって拘束されている。すなわち、従来のステージ装置の構成は、一方のスライダの動きに他方のスライダが追従する連性系のシステム構成である。そのため、X、Yスライダを能動的に位置決めする機械制御（サーボ）を行うことができず、高精度な位置決めを行うことができなかった。

【0010】

また、例えばYスライダに外乱が加わったときは、X、Yスライダがばね剛性によって拘束された連性系のシステム構成であるため、Yスライダに対する位置決めサーボ系がXスライダに対する位置決めサーボ系に必然的に影響を及ぼすことになり、Xスライダの高精度な位置決めを行うことが困難であった。

【0011】

さらに、Yスライダの位置に応じて、Xスライダに発生する力のモーメントを打ち消すために、Yスライダにフィードフォワード制御を施したとしても、Xスライダに振動が加わってしまい、X、Yスライダともに高精度の位置決めを行うことが困難となっていた。

【0012】

また、従来のエアベアリングに能動的にサーボをかける方法も考えられるが、応答性が悪く、高精度な位置決めを実現することは困難であった。この場合、ギャップセンサによってX、Yスライダ間のギャップを保持するシステムとなるため、システム構成上も応答性が悪く、高精度な位置決めは困難であった。

【0013】

本発明は、上記の背景に鑑みてなされたものであり、例えば、位置決め対象の構造物を大きな加速度で迅速に加減速するとともに高精度に位置決めすることができる位置決め装置及びそれを備えた露光装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の第1の側面は、位置決め装置に係り、位置決めすべき構造物と、前記構造物の位置決めのために移動する移動体と、前記構造物と前記移動体との間に電磁的に力を作作用させることにより、前記構造物と前記移動体との間に間隙を形成しつつ前記移動体の移動に伴って前記構造物が移動することを可能にする電磁機構とを備え、前記電磁機構は、前記構造物の目標位置と実際位置との偏差に基づいてフィードバック制御される第1電磁アクチュエータと、前記構造物の目標位置に基づいてフィードフォワード制御される第2電磁アクチュエータと、を有し、前記第1及び第2電磁アクチュエータは、各々、同一線上において互いに反対の方向に力を発生するように配置された一対の電磁石と、前記一対の電磁石の各々と対向して配置された一対のターゲットと、を有し、前記電磁石と前記ターゲットとの間において、前記電磁石が発生する磁束による吸引力が前記ターゲットに作用することを特徴とする。

【0015】

本発明の好適な実施の形態によれば、少なくとも1つの前記ターゲットは、少なくとも2つの前記電磁石によって共用されるように配置されることが望ましい。

【0016】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記フィードバック制御では、前記偏差を低減するために前記第1電磁アクチュエータが発生すべき力の平方根に前記第1電磁アクチュエータにおける前記電磁石と前記ターゲットとの間の間隙に相当する補正項を乗じた値に従って前記電磁石のコイルに流す電流を制御することが望ましい。

## 【0017】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記フィードフォワード制御では、前記構造物の目標位置を前記第2電磁アクチュエータの前記電磁石が発生すべき磁束の指令値に変換し、該指令値と前記電磁石が発生している磁束の値との差分に基づいて前記電磁石を制御することが望ましい。

## 【0018】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記一对の電磁石の一方の電磁石を駆動しているときは他方の電磁石を駆動しないことが望ましい。

## 【0019】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記装置は、前記第1電磁アクチュエータを2組備え、前記第2電磁アクチュエータが前記2組の第1電磁アクチュエータの間に配置されていることが望ましい。

## 【0020】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記第2電磁アクチュエータが発生する力の力線が、前記構造体の重心を通る線と一致していることが望ましい。

## 【0021】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記第1電磁アクチュエータと前記ターゲットの間隔は前記第2電磁アクチュエータと前記ターゲットの間隔以上あることが望ましい。

## 【0022】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記移動体の両端に配置されて前記移動体を駆動する2つの駆動機構を更に備え、前記2つの駆動機構は、前記構造物の位置に応じて分配される推力でそれぞれ前記移動体を駆動することが望ましい。

## 【0023】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記推力は、前記構造物から前記移動体を受ける反力によって生じる前記移動体の重心周りの力のモーメントを打ち消すように分配されることが望ましい。

## 【0024】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記推力は、前記構造物と前記移動体とを一体物としたときの重心位置に基づいて分配されることが望ましい。

## 【0025】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記推力は、前記構造物の重心位置と前記移動体の重心位置とに基づいて分配されることが望ましい。

## 【0026】

本発明の第2の側面は、露光装置に係り、上記記載の位置決め装置を利用して、位置決め対象物を位置決めし露光動作を実行することを特徴とする。

## 【0027】

本発明の第3の側面は、デバイス製造方法に係り、上記記載の露光装置を利用して、基板にパターンを転写する工程と、前記基板を現像する工程と、を含むことを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0028】

本発明によれば、例えば、位置決め対象の構造物を大きな加速度で迅速に加減速するとともに高精度に位置決めすることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0029】

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施の形態を説明する。

## 【0030】

図1は、本発明の好適な実施の形態のステージ装置の概観を示す図である。このステージ装置は、半導体露光装置等の露光装置のウエハステージ装置として構成されているが、本発明のステージ装置は他の装置に組み込まれてもよい。

## 【0031】

ウエハステージ装置 100 は、ウエハをウエハチャック上に保持し、アライメントポジションや露光ポジションにウエハを搬送し位置決めする。ステージ定盤 113 上には、不図示の静圧案内によって XY 平面上を移動自由に案内された粗動 X 梁 105 が配置されている。粗動 X 梁 105 は、X ヨーガイド 115 に不図示の静圧案内を用いてヨー方向の姿勢が固定され、結果として、粗動 X 梁 105 は、X 方向のみに移動自由に案内されている。同様に、粗動 Y 梁 107 は、ステージ定盤 113 と Y ヨーガイド 117 により Y 方向のみに移動自由に案内されている。

#### 【0032】

粗動 X 梁 105、粗動 Y 梁 107 の各両端には永久磁石を用いた X、Y 粗動リニアモータ可動子 119、121 がそれぞれ設けられている。X 粗動リニアモータ可動子 119 を上下から挟み込むように X 粗動リニアモータ固定子対 101 が配置され、Y 粗動リニアモータ可動子 121 を上下から挟み込むように Y 粗動リニアモータ固定子対 103 が配置されている。

#### 【0033】

粗動リニアモータ固定子 101、103 は、櫛歯状の珪素鋼薄板を積層して構成された鉄心にコイルが巻かれた構成を有する。鉄心と粗動リニアモータ可動子との間には磁石の吸引力が働くが、上下とも同じ間隙で粗動リニアモータ固定子が粗動リニアモータ可動子を挟み込む構成とすることにより、この吸引力が相殺されている。

#### 【0034】

粗動リニアモータ固定子 101、103 のコイルに電流を流すことにより、粗動リニアモータ固定子 101、103 と粗動リニアモータ可動子 119、121 との各間に推力を発生することができる。粗動リニアモータ固定子 101、103 とステージ定盤 113 は、同じ構造体によって支持されており、粗動リニアモータの推力は、X 粗動梁 105、粗動 Y 梁 107 の各々の移動方向に働く。

#### 【0035】

粗動 X 梁 105、粗動 Y 梁 107 には、不図示のコーナーキューブが設けられており、不図示のレーザ干渉計からのレーザ光を反射する。粗動 X 梁 105、粗動 Y 梁 107 の各々の移動方向の位置は、これらのレーザ干渉計により計測される。不図示の制御系により、粗動 X 梁 105、粗動 Y 梁 107 は、各々のレーザ干渉計による計測値と粗動リニアモータにより位置決め制御される。

#### 【0036】

粗動 X 梁 105、粗動 Y 梁 107 を囲むようにして XY スライダ 109 が設けられている。XY スライダ 109 の自重は、XY スライダ底板 109c に設けられた不図示の静圧案内によってステージ定盤 113 で受けられている。よって、XY スライダ 109 は、ステージ定盤 113 上の XY 平面内を移動するように案内されている。XY スライダ 109 と X 梁 105、Y 梁 107 との間には電磁ガイド（電磁機構）が設けられている。電磁ガイドについては、後述する。

#### 【0037】

XY スライダ 109 の適所、例えば、XY スライダ上板 109a の側面には、反射鏡が形成又は固定されており、不図示のレーザ干渉計により XY スライダ 109 の位置及び姿勢が計測される。図 2 は、図 1 に示す構成の一部を Z 方向に分解して示した図である。図 2 に示す例では、XY スライダ 109 に関して、レーザ光軸 AXX（X 方向の計測光軸）、レーザ光軸 AXY1 及び AXY2（共に Y 方向の計測光軸）を計測光軸とするレーザ干渉計が配置されており、X、Y 方向の位置及び  $\omega_z$  方向の回転を計測することができる。以下では、XY スライダ 109 に関するレーザ干渉計を XY スライダレーザ干渉計という。ここで、 $\omega_z$  方向の回転は、レーザ光軸 AXY1 及び AXY2 を光軸とするレーザ干渉計による計測結果、すなわち、Y 方向の 2 つの位置計測値の差分とレーザ光軸の間隔とに基づいて算出することができる。

#### 【0038】

同様に、X 梁 105、Y 梁 107 の適所、例えば両端部にも、反射鏡が形成又は固定さ



れており、不図示のレーザ干渉計によりX梁105、Y梁107の位置及び姿勢が計測される。図2に示す例では、X梁105に関して、レーザ光軸RAXX1及びRAXX2（共にX方向の計測光軸）が配置され、X梁105のX方向の位置及び $\omega_z$ 方向の回転が計測される。また、Y梁107に関して、レーザ光軸RAY1及びRAY2（共にY方向の計測光軸）を計測光軸とするレーザ干渉計が配置され、Y梁107のY方向の位置及び $\omega_z$ 方向の回転が計測される。X梁105、Y梁107に関するレーザ干渉計を以下では粗動ステージレーザ干渉計という。

#### 【0039】

XYスライダ109上には図1の微動ステージ111が搭載される。微動ステージ111は、不図示の空気ばねや磁石の反発を用いた自重補償系によりXYスライダ109からの振動が絶縁されている。XYスライダ109の上部にはコイルから成る単相リニアモータ固定子が固定され、微動ステージ111の下部には永久磁石から成る単相リニアモータ可動子が固定されている。これらによって構成される単相リニアモータは、微動ステージ111をX、Y、Zと各々の軸周りの回転方向である $\omega_x$ 、 $\omega_y$ 、 $\omega_z$ 方向に推力を出せる構成となっている。例えば、XY座標が異なる3つの位置にそれぞれ単相リニアモータを配置することにより、Z、 $\omega_x$ 、 $\omega_y$ 方向に推力を発生させることができる。また、X方向に2個、Y方向に2個の単相リニアモータを配置することにより、X、Y、 $\omega_z$ 方向に推力を発生させることができる。

#### 【0040】

微動ステージ111には、不図示のレーザ反射鏡が設けられており、不図示のレーザ干渉計によって微動ステージ装置111の6自由度の位置変位を計測することができる。

#### 【0041】

図3は、図2に示すXYスライダ底板109c、及びその上に設けられた電磁石を示す図である。図2及び図3を参照しながらXYスライダ109とX梁105、Y梁107との間に設けられた電磁ガイド（電磁機構）について説明する。

#### 【0042】

この実施の形態では、XYスライダ109と、それを移動させるための移動体としてのX梁105、Y梁107との間のガイド機構として電磁ガイドを採用している。電磁ガイド（電磁機構）は、電磁石が発生する磁界を利用した一对の電磁アクチュエータが梁を挟むように対向配置して構成された非接触のガイド（案内機構）である。このような電磁アクチュエータは、ターゲット（例えば、磁性体）と電磁石とによって構成される。ここで、エアガイドに代えて電磁ガイドを採用することにより、非接触ガイドであるという利点を維持しつつ高い推力伝達能力を得ることができる。このような電磁ガイドは、エアを使用しないので、真空環境或いは減圧環境等を含むあらゆる使用環境に適している。

#### 【0043】

ターゲット105T、107Tは、例えば、珪素鋼の薄板を積層して構成される。積層構造を採用するのは、渦電流の影響を抑えるためである。図4に電磁アクチュエータの構成例が示されている。電磁石130は、E型コア131にコイル132を巻くことにより構成される。コイル132に電流を流すことにより、E型コア131とターゲット105T（107T）に磁束が通り、両者間に吸引力が発生する。

#### 【0044】

電磁石130は、XYスライダ中間部材109bに取り付けられている。なお、XYスライダ109は、XYスライダ上板109a、XYスライダ中間部材109b、XYスライダ底板109cにより構成されている。

#### 【0045】

図3には、図2に示す電磁石130の具体的な配列例が示されている。なお、図2中の電磁石130は、図3では、XEM1～XEM4、XAEM1、XAEM2、YEM1～YEM4、YAEM1、YAEM2として記載されている。

#### 【0046】

電磁石XEM1～XEM4は、X方向に位置決めの際に制御力を発生する電磁石であり

、電磁石 YEM1～YEM4 は、Y 方向に位置決めの際に制御力を発生する電磁石である。これらの電磁石を位置決め用電磁石と呼ぶことにする。ここで、電磁石 XEM1 及び電磁石 XEM2、電磁石 XEM3 及び電磁石 XEM4、電磁石 YEM1 及び電磁石 YEM2、電磁石 YEM3 及び電磁石 YEM4 が、それぞれ対向配置されて電磁石対を構成している。

#### 【0047】

ここで、電磁石 XEM1 と電磁石 XEM2 の各中心を通る線を X12 軸、電磁石 XEM3 と電磁石 XEM4 の各中心を通る線を X34 軸、電磁石 YEM1 と電磁石 YEM2 の各中心を通る線を Y12 軸、電磁石 YEM3 と電磁石 YEM4 の各中心を通る線を Y34 軸と呼ぶことにする。X12 軸と X34 軸は、XY 平面内において XY スライダ 109 及び微動ステージ 111 を含む構造体（X 梁 105、Y 梁 107 の負荷）の重心を通る X 軸を基準として対称に配置されることが好ましい。同様に、Y12 軸と Y34 軸は、XY 平面内において XY スライダ 109 及び微動ステージ 111 を含む構造体（X 梁 105、Y 梁 107 の負荷）の重心を通る Y 軸を基準として対称に配置されることが好ましい。このような構成を採用することにより、X 軸方向及び Y 軸方向の制御力による  $\omega_z$  方向の回転を最小化することができる。

#### 【0048】

位置決め用電磁石 XEM1～XEM4、YEM1～YEM4 には、後述の電磁石指令演算器からフィードバック制御指令が送られる。フィードバック制御指令とは、XY スライダ 109 の位置制御系に与えられる位置指令（XY スライダ 109 の目標位置）と XY スライダ 109 の位置及び姿勢に関する計測値とから得られた XY スライダ 109 の位置偏差情報とに従って算出される制御指令である。なお、XY スライダ 109 の位置制御系の補償器には、公知の PID 補償器を採用することができる。

#### 【0049】

これらの位置決め用電磁石とは別に、この実施の形態では、X 方向への XY スライダ 109 の加速の際に制御力を発生する、対向配置された電磁石 XAEM1 及び XAEM2 からなる電磁石対と、Y 方向への XY スライダ 109 の加速の際に制御力を発生する、対向配置された電磁石 YAEM1 及び YAEM2 からなる電磁石対と、が設けられている。これらの電磁石を以下では加速用電磁石と呼ぶことにする。

#### 【0050】

ここで、X 方向用の加速用電磁石 XAEM1 及び XAEM2 の対は、XY スライダ 109 及び微動ステージ 111 を含む構造体（X 梁 105、Y 梁 107 の負荷）の重心を通る X 軸上に配置すること、すなわち、加速用電磁石対の力線を構造体の X 軸に一致させることが好ましい。また、同様に、Y 方向用の加速用電磁石 YAEM1 及び YAEM2 の対は、XY スライダ 109 及び微動ステージ 111 を含む構造体（X 梁 105、Y 梁 107 の負荷）の重心を通る Y 軸上に配置することが好ましい。これにより、ステージ装置を小型化しつつ X 軸方向及び Y 軸方向の制御力による  $\omega_z$  方向の回転（Z 軸周りの回転）を最小化することができる。ここで、加速用電磁石対の力線が前記構造体の重心からずれていると、加減速の際に Z 軸周りのモーメントが発生し、位置決め精度の悪化、位置決め用電磁石ユニットの負荷増加（発熱増加）を招くので好ましくない。

#### 【0051】

加速用電磁石 XAEM1、XAEM2、YAEM1、YAEM2 には、後述の XY スライダ位置指令器からフィードフォワード制御指令が送られる。フィードフォワード制御指令とは、XY スライダ 109 の駆動指令である加速度に XY スライダ 109 及び微動ステージ 111 を含む構造体（X 梁 105、Y 梁 107 の負荷）の質量を乗じた値である。フィードフォワード制御を加えることにより、ステージ加減速時（XY スライダ 109 の加減速時）の位置偏差を減少させ、フィードバック制御系で発生する制御指令の値を小さく抑えることができる。

#### 【0052】

X 方向の位置決め用電磁石 XEM1 及び XEM3（XEM2 及び XEM4）と加速用電

磁石 X A E M 1 ( X A E M 2 ) とは、電磁アクチュエータを構成するためのターゲット 1 0 5 T を共用することが好ましく、これにより、ステージ装置を小型化することができる。Y 方向の電磁石についても同様である。

#### 【0053】

ここで、電磁ガイドとして、位置決め用電磁ガイドと加速用電磁ガイドとを別個に設けることにより、X Y スライダ 1 0 9 ( 微動ステージ 1 1 1 ) の加減速時においても高い位置決め精度を実現することができる。すなわち、このような構成によれば、位置決め対象物としての構造体を迅速に加減速するとともに高精度に位置決めすることができる。以下に、この効果について詳述する。

#### 【0054】

X Y スライダ 1 0 9 の加減速時は、電磁ガイド ( 電磁機構 ) には、X Y 平面内において X Y スライダ 1 0 9 及び微動ステージ 1 1 1 を含む位置決め対象の構造体の質量に加速度を乗じた加減速力が加わる。ここでは、比較として、上記の位置決め用電磁石が加速用電磁石としても使用される場合 ( すなわち、加速用電磁石がない場合 ) を考える。

#### 【0055】

例えば、X Y ステージ 1 0 9 を X 軸の正方向に加速する場合、その加速力を X 方向用の電磁石 X E M 1 及び X E M 3 で X Y スライダ 1 0 9 に伝達する必要がある。すなわち、この場合、加速力に相当する吸引力を電磁石 X E M 1 及び X E M 3 が発生する必要がある。電磁石が発生する吸引力は、電磁石コイルに流れる電流の 2 乗に大凡比例する。すなわち、吸引力の大きさにより吸引力の分解能が変化する。電磁石の吸引力が小さいときは力変化に対する電流指令変化が大きく、吸引力が大きいときは力変化に対する電流指令変化が小さくなるためである。

#### 【0056】

言い換えると、電磁石の力分解能は線形ではなく、大きな力を発生するときほど分解能が悪くなる。よって、大きな加減速力を発生しているときは、力分解能が低下して X Y スライダ 1 0 9 の位置決め精度が悪くなり、最悪の場合、電磁ガイドの面同士が接触してしまい機能を果たさなくなる。したがって、大きな加減速力の伝達が可能でかつ高い位置決め精度を得ることができる電磁ガイドの構成が求められる。

#### 【0057】

この実施の形態は、上記の要求に応えるべく、位置決め用電磁ガイドと加速用電磁ガイドとを別個に設けている。このような構成によれば、X Y スライダ ( X Y ステージ ) の加減速時に必要な大きな力を加速用電磁石に発生させるので、位置決め用電磁ガイドでは、X Y スライダ ( X Y ステージ ) の加減速時、等速時、停止時といった運動状態に関係なく、位置決め用の限定された範囲内の力を発生すればよい。加減速時における加速用電磁ガイドの分解能の低さに起因する位置決め誤差は、高い分解能を常に発揮し得る位置決め用ガイドによって低減される。したがって、この実施の形態によれば、位置決め用電磁ガイドによって X Y スライダ ( X Y ステージ ) を高精度に位置決めすることができる一方、加速用電磁ガイドによって加減速時に大きな吸引力を得ることができる。

#### 【0058】

ここで、位置決め用電磁ガイドをフィードバック制御系で制御することにより、位置決め用電磁ガイドには、位置偏差に相当する小さな値の制御指令が与えられる。一方、加速用電磁ガイドをフィードフォワード制御系で制御することにより、加速用電磁ガイドには、加減速指令に相当する大きな値の制御指令が与えられる。

#### 【0059】

図 5 は、図 2 及び図 3 に示す電磁ガイド ( 電磁機構 ) を制御する制御系を示す図である。この制御系では、モード制御と呼ばれる手法が採用されている。すなわち、この制御系は、X Y スライダ 1 0 9 を含む位置決め対象の構造体の重心位置における X、Y 方向の位置、および Z 軸周りの回転方向である  $\omega_z$  の 3 軸の各モード位置指令と、X Y スライダ 1 0 9 の位置を 3 本のレーザ干渉計 ( 計測軸は、A X X、A X Y 1、A X Y 2 ) から提供される X Y スライダ 1 0 9 の各モード計測値とに基づいて X Y ステージ 1 0 9 の位置を制御

する。

#### 【0060】

モード毎の制御を行なうことにより、直進方向と回転方向との幾何学的干渉を避けることができる。まず、主制御器からXYスライダ位置指令器201にステージ移動指令が送られ、XYスライダ位置指令器201において、XYスライダ109の位置指令（目標位置）が算出される。モード指令変換器202は、位置指令に従ってXYスライダ109を含む構造体の重心位置におけるX、Y、 $\omega_z$ のモード位置指令を算出する。

#### 【0061】

XYスライダ位置算出器205は、XYスライダ109の位置を計測する3本のXYスライダレーザ干渉計による計測値に基づいて、レーザが反射鏡にあたる場所でのXYスライダ109の位置を算出する。モード位置演算器204は、XYスライダ位置算出器205によって算出されたXYスライダ109の位置をXYスライダ109の各モード計測値に変換する。モード指令変換器202およびモード位置演算器204には、XYスライダ109を含む構造体の重心位置の情報が組み込まれており、これらの幾何学的情報に基づいて演算が行われる。

#### 【0062】

モード制御器203は、モード位置指令とモード計測値とに基づいて各モード軸の偏差を算出して、これらの偏差を解消するためのモード制御指令を生成する。

#### 【0063】

前述のように、加速用電磁石は、その力線上に加速される構造体の重心があるので、XYスライダ位置指令器201においてXYスライダ109の位置指令から直にX、Y方向の加減速力のフィードフォワード制御指令が得られる。フィードフォワード制御指令は、磁束指令演算器211に送られる。

#### 【0064】

制御指令分配器212は、モード制御器203から送られてくるモード制御指令をXYスライダ109を含む構造体の重心位置情報と各電磁石の位置情報とに基づいてX12軸、X34軸、Y12軸、Y34軸に配置された電磁石への力指令であるXf12、Xf34、Yf12、Yf34に分配する。 $\omega_z$ 軸についての力指令は、X12軸とX34軸に割り振りY12軸とY34軸での $\omega_z$ 成分を零にしてもよいし、その逆でも良い。

#### 【0065】

位置決め用電磁石の駆動方法について、X12軸を一例として示す図6を参照して説明する。他のX34、Y12、Y34軸も同様の構成である。制御電流演算器213は、各軸の一对の位置決め用電磁石について図6に示す構成を有する。制御電流演算器213に設けられた選択器401は、X12軸指令であるXf12の正負を判断する。判断結果が正の場合（図6では、“1”）は、X12軸の電磁石XEM1及びXEM2のうち電磁石XEM2に力を発生させ、電磁石XEM1に対する力指令を零とする。すなわち、電磁石XEM2のコイルを駆動する電流ドライバ221に対して、XEM2指令器403は、零電流指令（演算式に従って演算されたXI2）を送り、電磁石XEM1のコイルを駆動する電流ドライバ221に対して、XEM1指令器402は、零電流指令（XI1=0）を送る。このように、X12軸指令であるXf12の正負に応じて一对の電磁石の一方にのみ電流を流すことにより、電磁石（コイル）の発熱を低減することができる。

#### 【0066】

電磁石が発生する吸引力は電磁石ギャップの磁束 $\phi$ の2乗に比例し、磁束 $\phi$ はコイルに流れる電流に比例する。よって、電磁石が発生する力は、コイル電流の2乗にほぼ比例すると考えてよい。そこで、電磁石XEM2のコイルには、力指令の平方根の次元を有する電流が与えられる。より具体的には、電磁石XEM2のコイルには、力指令（XF12）の平方根に補正值を乗じた値に相当する電流が指令電流として与えられる。

#### 【0067】

更に、吸引力は電磁石ギャップにも依存する。吸引力は大凡電磁石ギャップの2乗分の1に比例する。X梁105、Y梁107とXYスライダ109とで制御性能が異なると、

XYスライダ109を加減速させる際に両者間の位置偏差に差が生じ、結果として電磁石ギャップの変動が生じる。この変動は、電磁石の吸引力を変動させるので、これに対処しないと最悪の場合には、XYスライダ109の制御系が吸引力変動の非線形性に勝てず、不安定となり発散を起こす。そこで、次のようなギャップ変動補正を行なうことが好ましい。

#### 【0068】

すなわち、XYスライダ位置算出器205によりXYスライダレーザ干渉計（計測軸は、AXX、AXY1、AXY2）から提供される位置情報に基づいてXYスライダ109の位置を算出する。また、粗動ステージ位置算出器206により粗動ステージレーザ干渉計（計測軸は、RAXX1、RAXX2、RAXY1、RAXY2）に基づいて粗動ステージ（X梁105、Y梁107）の位置を算出する。そして、ギャップ算出器214によりXYスライダ位置及び粗動ステージ位置に基づいて各電磁石XEM1、XEM2、XEM3、XEM4、YEM1、YEM2、YEM3、YEM4のギャップX1gap、X2gap、X3gap、X4gap、Y1gap、Y2gap、Y3gap、Y4gapを算出する。この符号はギャップが大きくなる方向を正方向にとることにする。すなわち、ギャップ値が大きくなると、吸引力は減少する。

#### 【0069】

図6のXギャップ補正器2（405）では、ギャップ補正係数Col\_X2gapを次式に従って算出する。

#### 【0070】

$$\text{Col\_X2gap} = 1 + \text{X2gap} / \text{Gap} \quad : \text{Gap} = (\text{標準ギャップ値})$$

Gapは、ギャップ変動が零の時の標準のギャップの値であり、単位はX2gapと同じである。ここでは、X梁105、Y梁107とXYスライダ109の各々の計測値から電磁石のギャップを割り出したが、電磁石の近傍に該電磁石とターゲットとのギャップを計測するギャップセンサを用いてもよい。XEM2指令器403では、前述した力指令の平方根である $\sqrt{Xf12}$ に対して、このギャップ補正係数Col\_X2gapを乗じたものを、電磁石XEM2のコイルを駆動する電流ドライバ222に対する電流指令(XI2)として算出する。

#### 【0071】

X12軸指令のXf12が負または零の場合（図6では、判断結果が“0”の場合）は、電磁石XEM2のコイルを駆動する電流ドライバ222に対する電流指令を零とし、電磁石XEM1のコイルを駆動する電流ドライバ221に対しては力指令の平方根にギャップ補正係数Col\_X1gapを乗じたものを電流指令(XI1)として指令する。ただし、Xf12が負であるので、平方根をとるにあたって-1を乗じて正の値にしてから行なう。Xf12が零の場合は、当然に、電磁石XEM1のコイルを駆動する電流ドライバ221に対する指令も零となる。

#### 【0072】

他の軸（X34軸、Y12軸、Y34軸）もX12軸の構成とまったく同じであるので省略する。

#### 【0073】

各々の電磁石XEM1～XEM4、YEM1～YEM4のコイルには、制御電流演算器213から提供される電流指令(XI1～XI4、YI1～YI4)に従った電流が電流ドライバ(X1～X4、Y1～Y4)221～228によって供給される。このようにして所望の制御力をXYスライダ109の電磁ガイドに発生させることができ、XYスライダ109を高精度に位置決めすることができる。位置決め用電磁石に発生させる制御力は小さくてよいので、以上のような電流ドライバに電流指令を送る方式が簡単であり好ましい。

#### 【0074】

位置決め用電磁石の制御方法については、公知の技術として、対向する電磁石の両者にバイアス電流を流しておき片方にバイアス電流に制御指令電流を加えたものを、他方にバ

イアス電流から制御指令電流を差し引いたものを指令する方法がある。しかし、この制御方法では、コイルが発生する熱がバイアス電流の増大に伴って大きくなり、さらにギャップ変動時の吸引力変動を抑制することができない。よって、大きな加減速を伴うステージ装置においては、この実施の形態のような位置決め用電磁石の制御方法を用いるのが良い。

#### 【0075】

次に、加速用電磁石の駆動方法について、X加速電磁石X A E M 1及びX A E M 2を一例として、図7及び図8を参照して説明する。一对の加速用電磁石の対向する電磁石X A E M 1及びX A E M 2への指令は、電磁石指令演算器210内の磁束指令演算器211がフィードフォワード制御指令の正負に応じて振り分ける。磁束指令演算器211は、X加速電磁石X A E M 1及びX A E M 2用として図7に示す構成を有し、また、Y加速電磁石Y A E M 1及びY A E M 2用としても同様の構成を有する。

#### 【0076】

X Yスライダ位置指令器201からX方向のフィードフォワード制御指令X f fが磁束指令演算器211に送られる。磁束指令演算器211内の選択回路411は、フィードフォワード制御指令X f fの正負を判断する。フィードフォワード制御指令X f fが正の場合（図7では、判断結果が“1”の場合）は、X A E M 1指令器412が電磁石X A E M 11に指令X J 1を送り、X A E M 2指令器413が電磁石X A E M 2に零指令X J 2を送る。X f fが負の場合（図7では、判断結果が“0”の場合）は、この逆となる。フィードフォワード制御指令X f fの正負に応じて一对の電磁石の一方にのみ電流を流すことにより、電磁石（コイル）の発熱を低減することができる。

#### 【0077】

加速電磁石は、大きな加減速力を発生する必要があるので、位置決め用電磁石に用いた電流指令系ではなく、磁束を検出して磁束の次元で制御する磁束フィードバック制御系を用いることが好ましい。そこで、この実施の形態は、加速用電磁石X A E M 1、X A E M 2への指令の次元を磁束の次元としている。磁束の次元とは、フィードフォワード制御指令の平方根をとったものである。X f fが負の場合は、-1を乗じて符号を反転させてから平方根をとる。

#### 【0078】

磁束指令演算器211で演算された各加速用電磁石への磁束指令X J 1、X J 2、Y J 1、Y J 2は、加速用電磁石X A E M 1を駆動するX加速電磁石1駆動系231、加速用電磁石X A E M 2を駆動するX加速電磁石2駆動系232、加速用電磁石Y A E M 1を駆動するY加速電磁石1駆動系233、加速用電磁石Y A E M 2を駆動するY加速電磁石2駆動系234に送られる。

#### 【0079】

図8を参照しながら、電磁石X A E M 1を一例として説明すると、加速電磁石駆動系231には、電磁石X A E M 1に設けられたサーチコイル421と積分器423とにより磁束検出器が構成されている。電磁石X A E M 1のサーチコイル421には、電磁石X A E M 1における磁束の時間変化成分が誘起電圧として発生する。この誘起電圧を積分器423により時間積分することで電磁石X A E M 1が発生する磁束が検出される。加算器424では磁束指令X J 1と検出磁束との差分である磁束誤差が算出される。この磁束誤差に増幅器425がゲインを乗じて電圧ドライバ426に指令として送られる。電磁石X A E M 1のコイル422には電圧ドライバにより電圧が印加され、コイル422に電流が流れることにより電磁石X A E M 1に磁束が発生する。

#### 【0080】

図8に示すフィードバックループを磁束フィードバックループと呼ぶ。この磁束フィードバックループの磁束誤差から検出磁束までのループゲインが十分に高ければ、電磁石X A E M 1に発生する磁束は、指令磁束X J 1にはほぼ等しいものとなる。電磁石で発生する吸引力は磁束の2乗に比例するので、磁束を制御することにより等価的に吸引力を制御することになる。当然ながら、磁束指令が零の場合は電磁石X A E M 1で発生する力もコイ

ルに流れる電流も零となる。

#### 【0081】

加速用電磁石 X A E M 1、X A E M 2、Y A E M 1、Y A E M 2 に磁束フィードバックループを用いたのは次の理由による。粗動リニアモータ 101、103 によって大きな加速力で X Y スライダ 109 を駆動する場合、X 梁 105、Y 梁 107 と X Y スライダ 109 との間の電磁ガイド（加速用電磁石）は大きな力を発生する必要がある。電磁石の材質として磁気ヒステリシス特性の少ない珪素鋼を用いたとしても、大きな磁束を通すと少なからず残留磁気が発生する。位置決め用電磁石のように電流の制御のみではこの残留磁気の影響を抑えることができず、フィードフォワード力発生の精度が悪くなる。

#### 【0082】

フィードフォワード力に誤差が生じると、加減速時の X Y スライダ 109 の位置偏差が生じ、結果的にフィードバック制御指令分が増えて位置決め用電磁石が大きな力を発生する必要がある、位置決め用電磁石が発生する力を小さく抑えるという思想に対立する。磁束フィードバック制御では磁束を検出して制御しており、残留磁気の影響はこの磁束検出で得ることができるので高精度に大きな吸引力を発生させることができる。

#### 【0083】

位置決め用電磁石では、発生する力が小さいので残留磁気を生じる量も少なく、また、フィードフォワード制御指令のようにオープン指令ではなくフィードバック指令であるので残留磁気があったとしても問題とはならない。

#### 【0084】

本発明を適用する上でステージの構成は上記の実施形態に限定されない。上記の実施形態では、平面上において X Y スライダ（X Y ステージ）を X、Y、 $\omega z$  方向に位置制御する構成であったが、本発明は、位置制御と加速力伝達が必要なあらゆる構成に適用することができ、例えば、並進 1 方向のみや並進 1 方向と回転 1 方向（例えば X と  $\omega z$ ）の制御にも適用することができる。

#### 【0085】

また、上記の実施の形態では、平面上において X、Y 方向に大きな移動範囲で X Y スライダを移動させる必要があったのでターゲットを長く構成し、ターゲット面に対して電磁石面が移動する方式をとった。この場合は、上記のように、位置決め用電磁石と加速用電磁石とでターゲットを共用することが装置を小型化する面で有利である。しかしながら、位置決め用電磁石用および加速用電磁石用としてターゲットとを独立に設けてもよい。

#### 【0086】

並進 1 方向のみに位置決めおよび加減速伝達を行なう場合であれば、ターゲット面と電磁石面が平面上で大きく移動することはないので、それぞれに独立してターゲットを構成すればよい。このような構成の一例を図 9 に示す。第 1 ステージ 501 は X 方向に移動し、第 2 ステージ 502 は、第 1 ステージ 501 上に X および  $\omega z$  方向に移動自由に支持されている。第 1 ステージ 501 上には第 2 ステージ 502 を位置決め制御するための電磁石として電磁石 X E M 1 ~ X E M 4、および加減速力を伝達するための電磁石として電磁石 X A E M 1、X A E M 2 が設けられている。第 2 ステージ 502 上には、各々の電磁石に対応するターゲット T 1 ~ T 4、A T 1、A T 2 が独立に構成されている。

#### 【0087】

図 9 に示す構成は、例えばマスクステージとして好適であり、この場合、第 2 ステージ 502 上に半導体露光用のマスク基板が搭載されるので、第 2 ステージ 502 の熱膨張による露光精度悪化を防ぐ必要がある。このため発熱源である電磁石を第 1 ステージ 501 に固定し、発熱のないターゲットを第 2 ステージ 502 に固定することが好ましい。各ステージの制御系は図 5 に示した構成から 1 方向分の制御系のみを切り出した構成とすることができる。

#### 【0088】

前述のように電磁石の発生する力はターゲットとのギャップが小さいほど、同じ電流に対して大きくなる。加速用電磁石は大きな加減速力を出す必要があるので、ギャップを小

さくしコイルの発熱を抑えるようにすることが望ましい。位置決め用電磁石では発生する力は小さくて済むので、加速用電磁石ほどギャップを小さくする必要は無い。また、前述したギャップ変動補正の精度をあげるためにもギャップは大きいほうが良い。さらに、 $w$ 、 $z$ 方向のストロークを確保するためにも位置決め用電磁石のギャップは大きいほうが良い。そこで、(位置決め用電磁石とターゲットの間隙)  $\geq$  (加速用電磁石とターゲットの間隙) とすることが構成上望ましい。

#### 【0089】

図10は、XYスライダ109とX梁105、Y梁107との間の非接触ガイドが静圧軸受等のエアベアリングで構成されている例を示す。この例は、ばね剛性によって拘束され、X梁105、Y梁107の動きにXYスライダ109が追従する連性系システム構成である。このため、この例では、XYスライダ109を能動的に位置決めサーボすることが出来ず、高精度な位置決めを行うには不充分であった。さらに、例えばX梁105、Y梁107に印加された外乱に対しても、X梁105、Y梁107とXYスライダ109とがばね剛性によって拘束された連性系のシステムであったため、X梁105、Y梁107に対する位置決めサーボがXYスライダ109に影響を及ぼしてしまい、XYスライダ109を高精度に位置決めすることが困難であった。

#### 【0090】

また、従来のエアガイドによるシステムを適用した場合には、X梁105、Y梁107を駆動する際に、X梁105、Y梁107の両側の駆動装置は、XYスライダ109の位置と各駆動装置との間の距離の比を逐次演算し、その結果に基づいてX梁105、Y梁107の両端にある2つの駆動装置の駆動力をXYスライダ109の位置に応じて調整することになる。

#### 【0091】

例えば、XYスライダ109の重心XYgとY梁107の重心YgとがX方向にずれた位置にある場合では、Y梁107が移動すると、Y梁107ではXYスライダ109から空気ばね等を介して受ける力によって、Z軸周りの回転方向にモーメント力が発生する。このとき、Y梁107の両端のリニアモータ103a、103b(駆動装置)に与える推力を分配することによって、Y梁107にかかるモーメント力を相殺する。その際、X梁105、Y梁107とXYスライダ109とは、ばねを介してつながっていると考えられるため、両者を一体物として新たな重心Gを求め、そこから両端のリニアモータ103a、103bまでの距離の比で加減速時、等速運動時、外乱印加時の区別なくX梁105、Y梁107の両端にあるリニアモータ103a、103bの推力を分配する方法を採る。

#### 【0092】

すなわち、能動的に制御を行っているのは、X梁105、Y梁107のみであり、XYスライダ109は、静圧軸受のばね剛性によって拘束され、X梁105、Y梁107の動きにXYスライダ109が追従するといった連性系のシステム構成である。なお、XYスライダ109の重心がX梁105の重心とY方向にずれた位置にあるときに、X梁105がX方向に移動した場合においても同様である。

#### 【0093】

しかし、図11に示すように、本発明な好適な実施の形態に係る電磁ガイドを用いることによって、X梁105、Y梁107とXYスライダ109とをそれぞれ独立に位置計測して、XYスライダ109とX梁105、Y梁107とが分離したサーボ系を構成することが出来る。すなわち、駆動システム900は、X梁105、Y梁107及びXYスライダ109のそれぞれに対し、独自に目標位置を与えて、独自のフィードバック制御系によって、独自に能動的な位置決めサーボを行うことが出来る。このため、従来のシステムに比べてX梁105、Y梁107及びXYスライダ109の位置決め特性が向上する。

#### 【0094】

また、X梁105、Y梁107に印加された外乱に対して、ばね剛性によって拘束された連性系のシステムを適用する場合は、X梁105、Y梁107の位置決めサーボが必ずXYスライダ109に影響を及ぼしていたが、X梁105とY梁107とで、分離したフ



ィードバック制御系を採用することにより、XYスライダ109の位置決めサーボ系に影響を与えることなく、X梁105、Y梁107の位置決めサーボを行うことが出来る。このため、従来のシステムに比べて、X梁105、Y梁107及びXYスライダ109の位置決め特性が向上する。

#### 【0095】

さらに、例えばXYスライダ109の重心XYgがY梁107の重心YgとX方向にずれた位置にある場合では、電磁石ユニットが力を発生するとY梁107への力の印加点がY梁107の重心からずれることにより、z軸周りの回転方向にモーメント力が発生する。

#### 【0096】

駆動システム900は、このモーメント力を予め算出し、それを打ち消すような大きさが同じで方向が反対の力を作り出すように、Y梁107の両端のリニアモータ103a、103bにフィードフォワード制御指令を加える方法を採用することもできる。これによって、駆動システム900は、XYスライダ109動作時の位置偏差を減少させ、フィードバック制御系で発生する制御指令を更に小さく抑えることが出来る。以下、X梁105、Y梁107にかかるモーメント力を打ち消す方法を例示的に示す。

#### 【0097】

図11は、本発明の好適な実施の形態に係るステージ装置における推力分配を説明するための図である。図11に示すように、例えば、右側のリニアモータ103bに与える力を $F_1$ 、左側のリニアモータ103aに与える力を $F_2$ 、Y梁107がXYスライダ109から受ける反力を $F_3$ とする。また、Y梁107の重心Ygから右側のリニアモータ103bの力の印加点までの距離を $L_1$ 、Y梁107の重心Ygから左側のリニアモータ103aの力の印加点までの距離を $L_2$ 、Y梁107の重心YgからXYスライダ109の重心XYgまでの距離を $L_3$ とすると、

$$F_1 + F_2 = F_3$$

$$F_1 \cdot L_1 - F_2 \cdot L_2 = F_3 \cdot L_3 \quad \cdots (\text{数式1})$$

という、関係式が得られる。

#### 【0098】

反力 $F_3$ がXYスライダ109の加減速によるものである場合、XYスライダ109の目標加速度とXYスライダ109の重量（例えば、XYスライダ109の重量と微動ステージの重量を合わせたもの）で反力 $F_3$ を表すことが出来る。したがって、XYスライダ109の重量を $m$ 、XYスライダ109の加速度を $a$ とすると、Y梁107が受ける反力 $F_3$ は

$$F_3 = m \cdot a \quad \cdots (\text{数式2})$$

となる。

#### 【0099】

数式1に数式2を代入して、Y梁107の左右リニアモータ103a、103bへのフィードフォワード制御指令の分配を決定すると、求める分配式は、

$$F_1 = (L_2 + L_3 / L_1 + L_2) \times m \cdot a$$

$$F_2 = (L_1 - L_3 / L_1 + L_2) \times m \cdot a \quad \cdots (\text{数式3})$$

となる。駆動システム900は、これらの力をY梁107の両端のリニアモータ103a、103bに、フィードフォワード制御指令として与え、Y梁107の重心Ygにかかるモーメント力を打ち消すことができる。

#### 【0100】

一方、XYスライダ109が等速運動する時等のように加減速を行っていない場合や、XYスライダ109に外乱が印加された時等の反力 $F_3$ がXYスライダ109の通常の位置決めサーボ系によるものである場合では、駆動システム900は、電磁石ユニットが出す力を推定して、加減速時の場合と同様に分配することができる。電磁石ユニットは電流の2乗に比例し、吸引対象との間の距離の2乗に反比例する力を出すことが知られている。ここで、推定された力を $f$ とすると、Y梁107が受ける反力は

$$F_3 = f \propto i^2 / r^2 \quad \dots (\text{数式 4})$$

と表される。但し、 $i$  は電磁石に流れる電流であり、 $r$  は電磁石から吸引される磁性体までの距離（ギャップ）である。

#### 【0101】

数式 1 に数式 4 を代入して Y 梁 107 の左右リニアモータ 103 a、103 b へのフィードフォワード制御指令の分配を決定すると、求める分配式は、

$$F_1 = (L_2 + L_3 / L_1 + L_2) \times f$$

$$F_2 = (L_1 - L_3 / L_1 + L_2) \times f \quad \dots (\text{数式 5})$$

となる。駆動システム 900 は、これらの力を Y 梁 107 の両端のリニアモータ 103 a、103 b にフィードフォワード制御指令として加え、Y 梁 107 の重心  $Y_g$  にかかるモーメントを打ち消すことができる。なお、駆動システム 900 は、XY スライダ 109 の重心  $XY_g$  が X 梁 105 の重心と Y 方向にずれた位置にあるときには、X 梁 105 の両端のリニアモータ 101 a、101 b にフィードフォワード制御指令を加える方法を採用することができる。

#### 【0102】

X 梁 105、Y 梁 107 にかかるモーメント力を打ち消すための方法は、上記の方法に限定されない。例えば、駆動システム 900 は、図 10 に示したような、X 梁 105、Y 梁 107 と XY スライダ 109 とを一体物として新たな重心  $G$  を求め、重心  $G$  から両端のリニアモータ 103 a、103 b までの距離の比に基づいて、X 梁 105、Y 梁 107 の両端にあるリニアモータ 103 a、103 b の推力を分配する方法を採用することもできるし、その他の方法を採用することもできる。

#### 【0103】

以上のように、加速用電磁石ユニットと位置決め用電磁石ユニットを分けるという構成を採ることにより、より大きなモーメント力を発生するステージの加減速時において、目標加速度入力により正確に各梁にかかる Z 軸周りのモーメント力を算出することが出来るため、ステージの位置決め特性を著しく向上することができる。

#### 【0104】

図 12 は、上記のステージ装置を組み込んだ露光装置の構成を概略的に示す図である。図 12 に示す例では、図 1 に示すステージ装置をウエハステージとして搭載し、図 9 に示すステージ装置をマスクステージとして搭載している。マスクステージ 500 には、その第 2 ステージ 502 に設けられたチャックによってマスクが保持され、ウエハステージ 100 には、その微動ステージ 111 に設けられたチャックによってウエハが保持される。マスクは、照明光学系 601 によって照明され、マスクに形成されているパターンの像は、投影光学系 602 を介してウエハ上に投影転写される。パターンが転写された基板としてのウエハ上の感光層は、半導体デバイスを製造するために現像される。この露光装置は、上述のように、半導体デバイスの周知の製造プロセスに適用される。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0105】

【図 1】 本発明の好適な実施の形態のステージ装置の概観を示す図である。

【図 2】 図 1 に示す構成の一部を Z 方向に分解して示した図である。

【図 3】 電磁ガイド（電磁機構）の電磁アクチュエータを構成する電磁石の配列例を示す図である。

【図 4】 電磁ガイド（電磁機構）の電磁アクチュエータの構成例を示す図である。

【図 5】 図 2 及び図 3 に示す電磁ガイド（電磁機構）を制御する制御系を示す図である。

【図 6】 一对の位置決め用電磁石の駆動方法を説明する図である。

【図 7】 一对の加速用電磁石の駆動方法を説明する図である。

【図 8】 1 つの加速用電磁石の駆動方法を説明する図である。

【図 9】 本発明の他の実施の形態のステージ装置の構成を示す図である。

【図 10】 本発明の好適な実施の形態のステージ装置における推力分配を説明する図

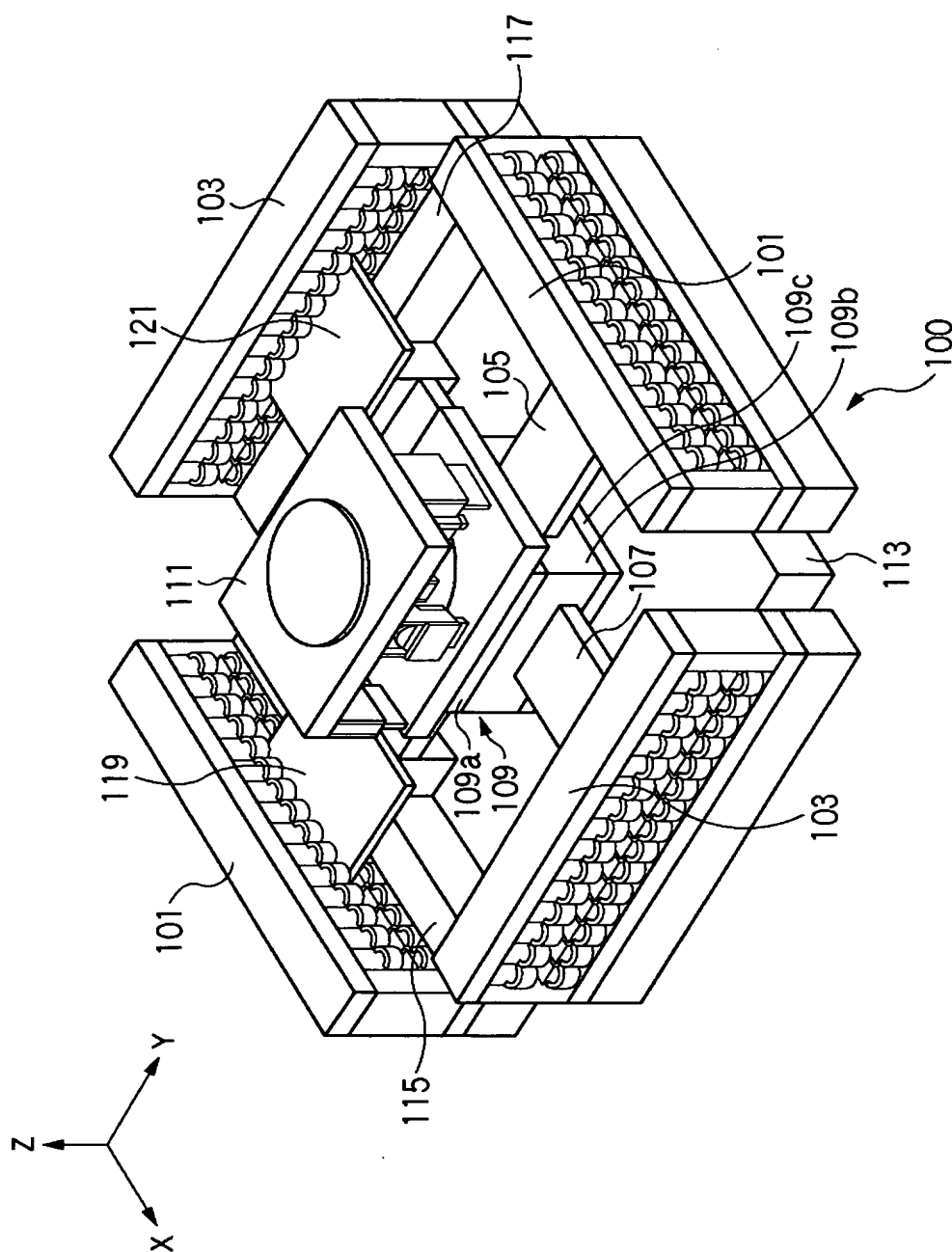
面である。

【図 1 1】 本発明の好適な実施の形態のステージ装置における推力分配を説明する図面である。

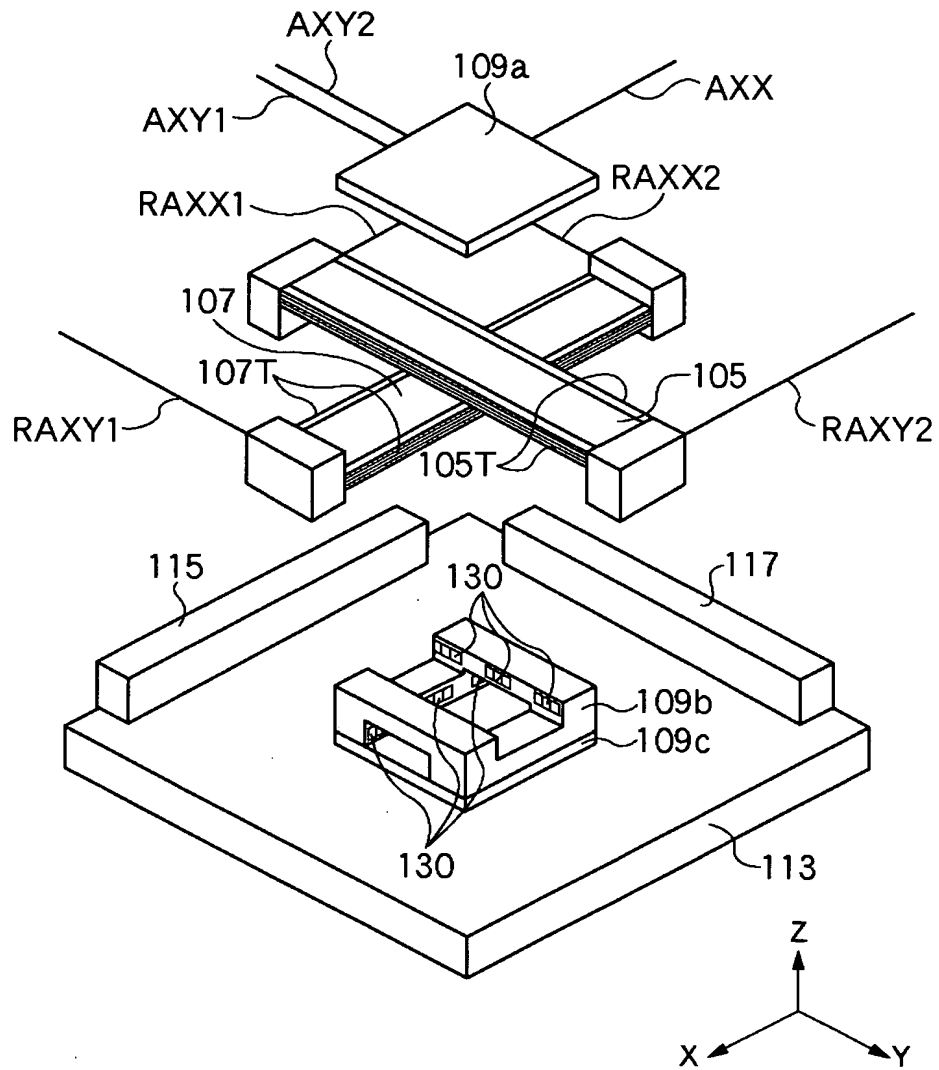
【図 1 2】 露光装置の概略構成を示す図である。

【書類名】 図面

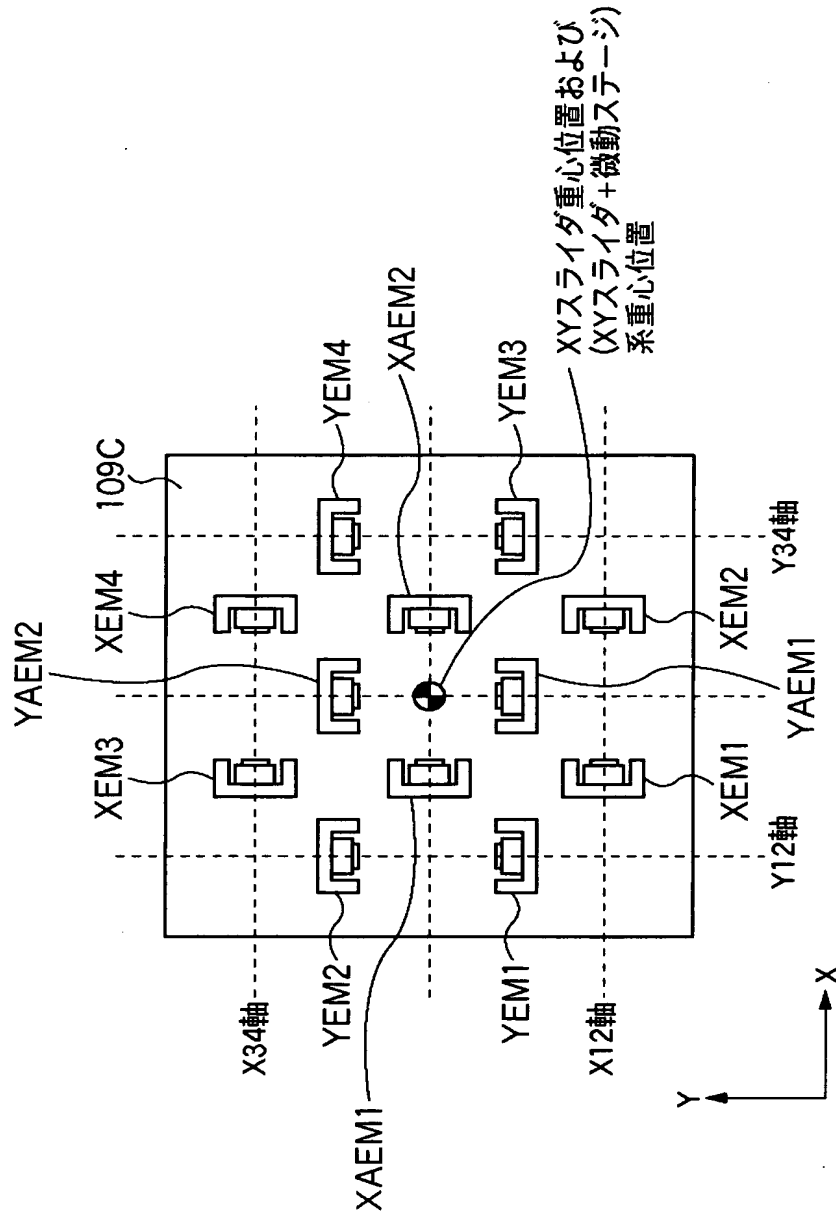
【図 1】



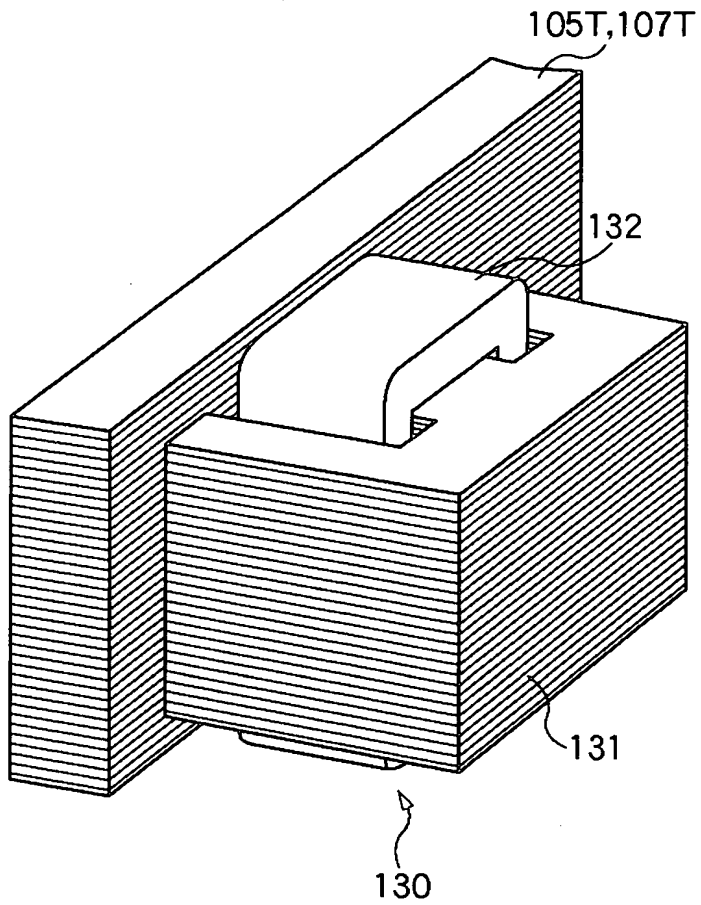
【図 2】



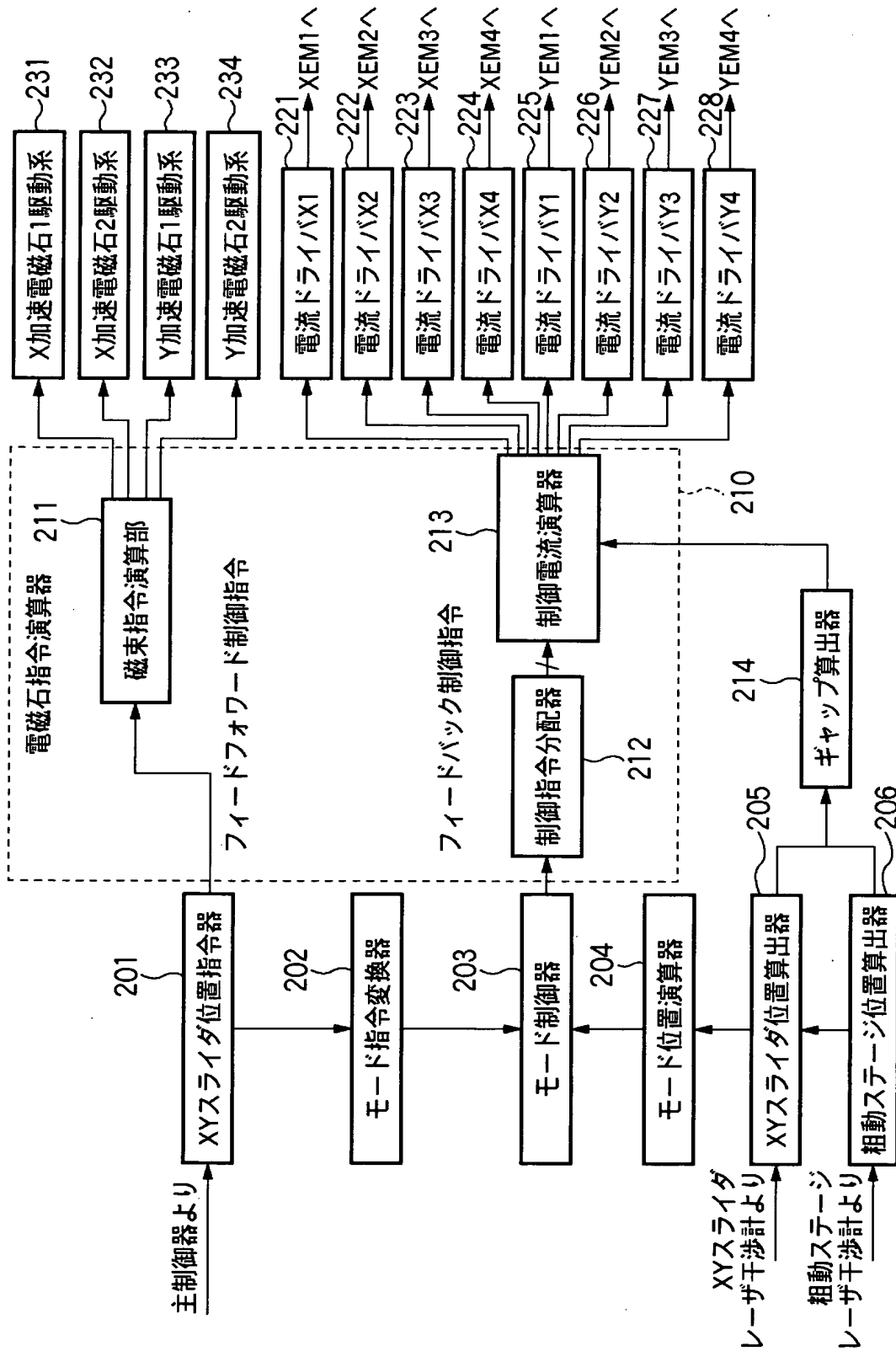
【図 3】



【図 4】

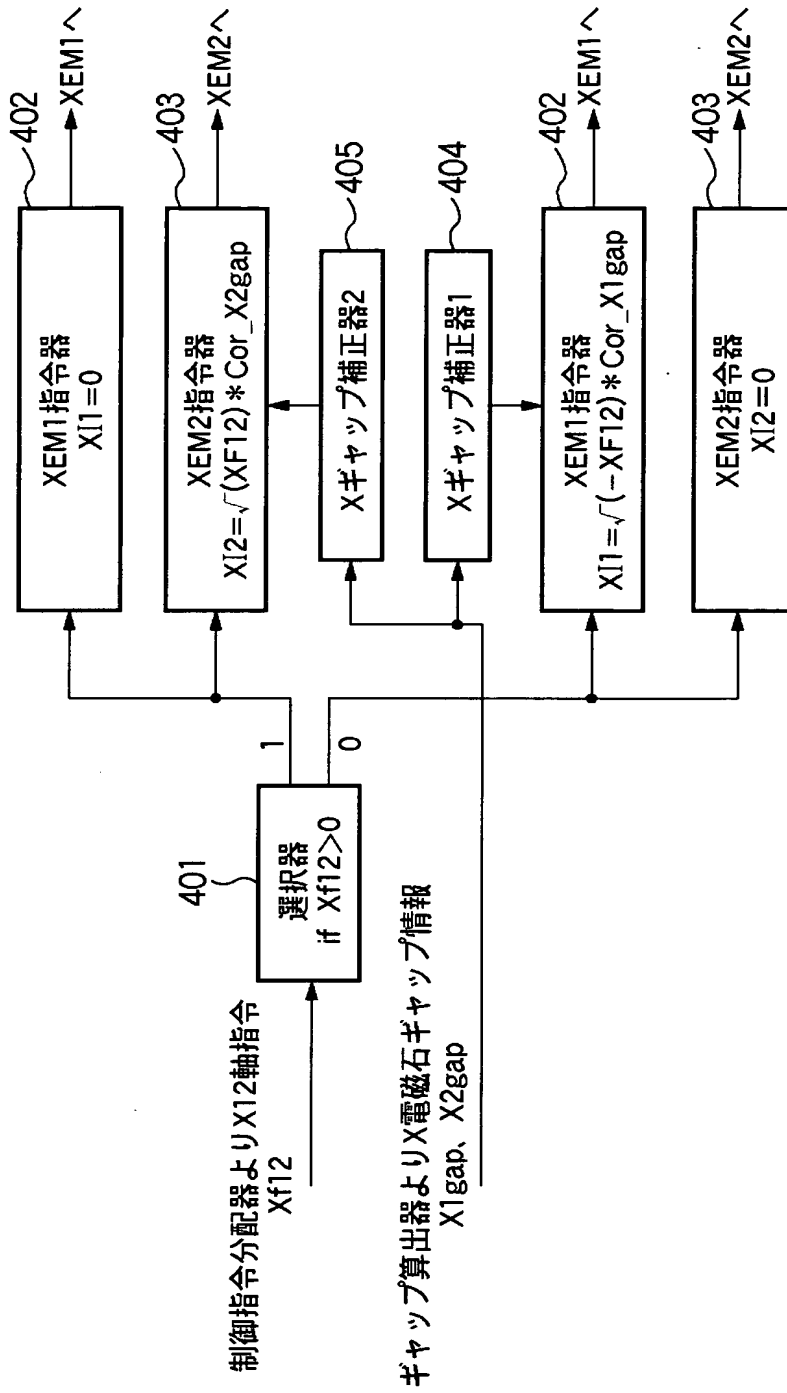


【図 5】

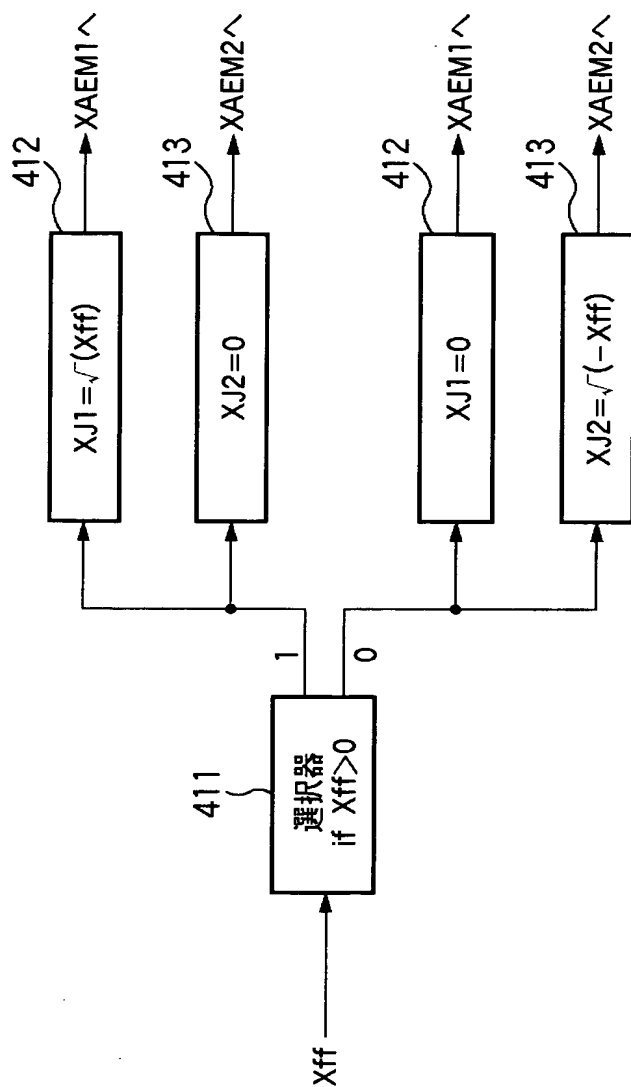




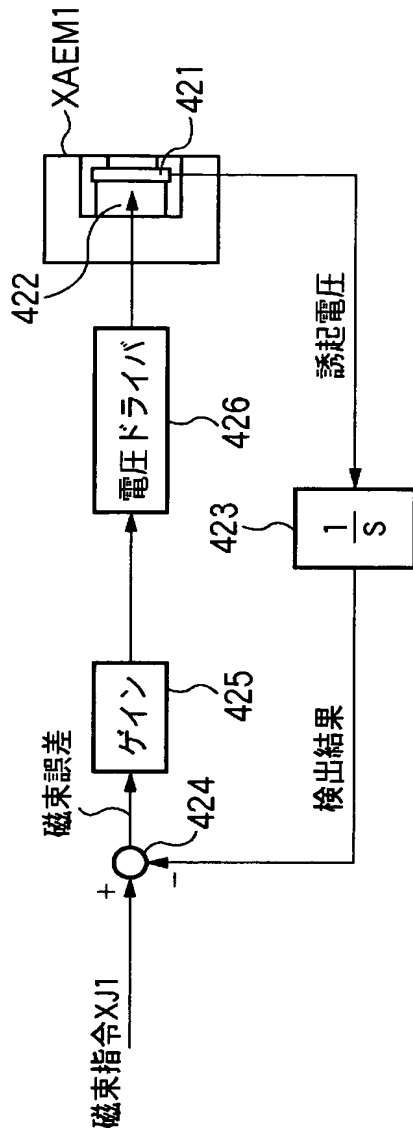
【図 6】



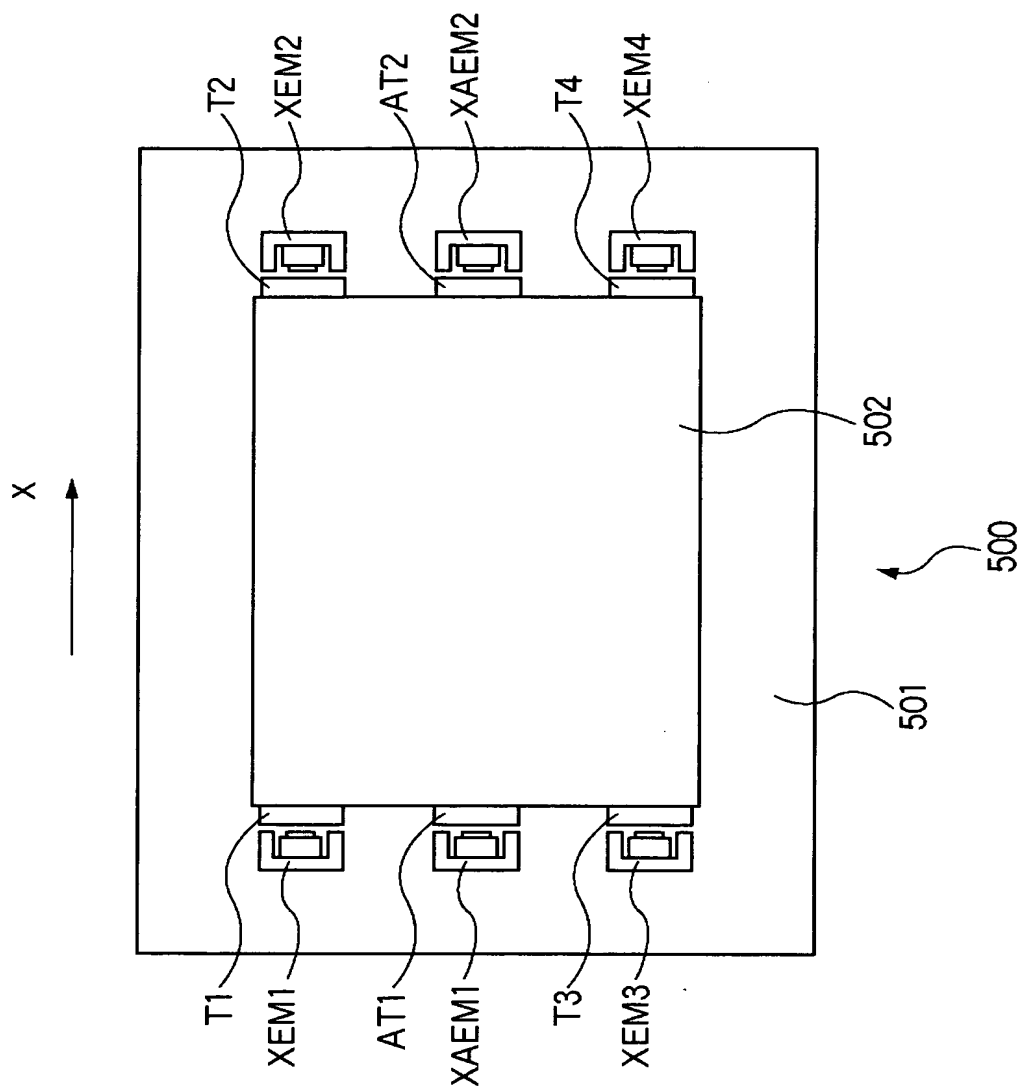
【図 7】



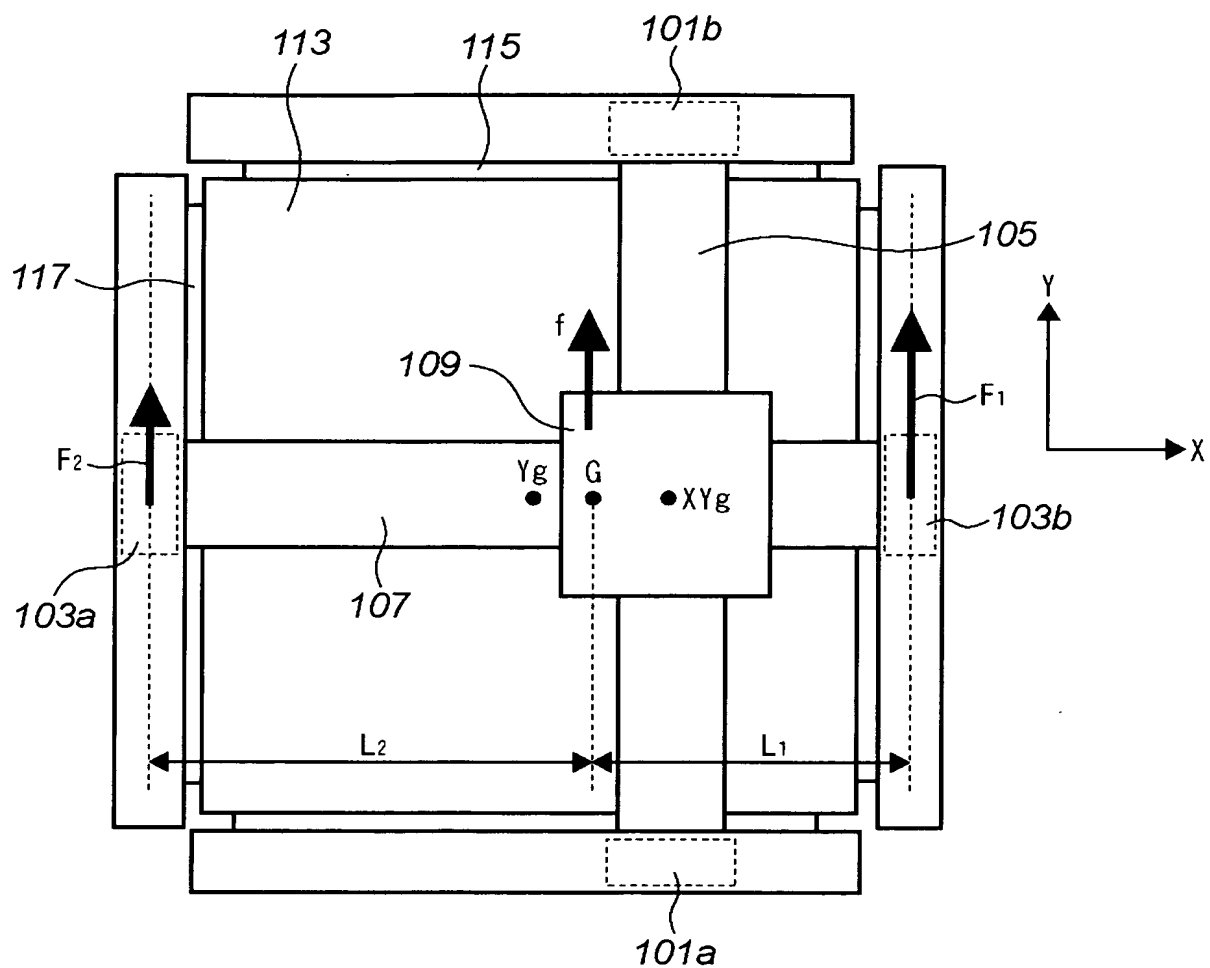
【図 8】



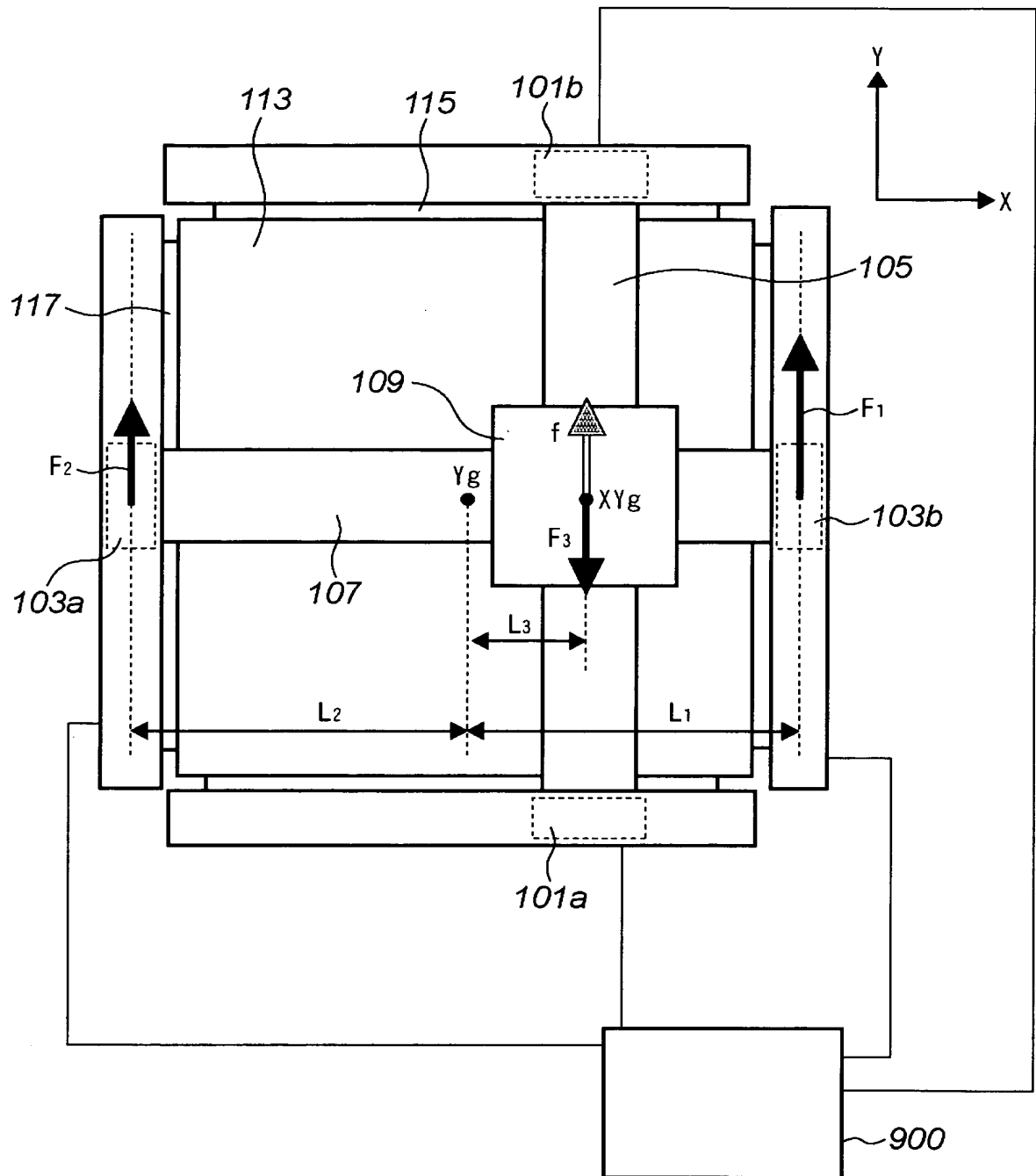
【図 9】



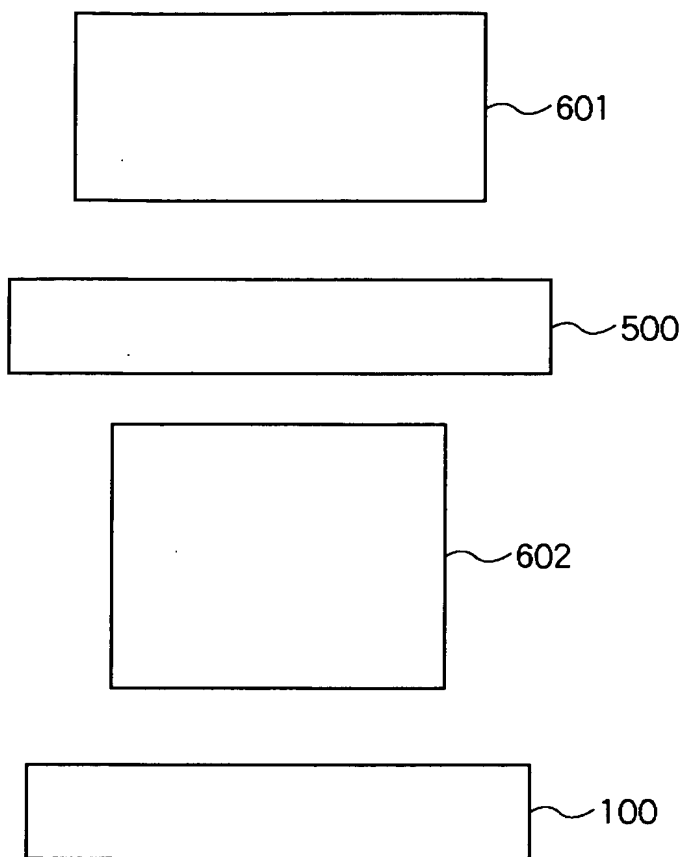
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】位置決め対象の構造物を大きな加速度で迅速に加減速するとともに高精度に位置決めする。

【解決手段】位置決め装置は、X Y スライダを X 梁、Y 梁とともに移動させる。X Y スライダと X 梁、Y 梁との間には電磁ガイド（電磁機構）が設けられる。電磁ガイドは、X Y スライダ 1 0 9 c に設けられた位置決め用電磁石 X E M 1 ～ X E M 4、Y E M 1 ～ Y E M 4 および加速用電磁石 X A E M 1、X A E M 2、Y A E M 1、Y A E M 2 と、X 梁、Y 梁に設けられたターゲットとで構成される。位置決め用電磁石はフィードバック制御され、加速用電磁石はフィードフォワード制御される。

【選択図】図 3





## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-324688
受付番号	50301536179
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成 15 年 9 月 22 日

## &lt; 認定情報・付加情報 &gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】	000001007
【住所又は居所】	東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号
【氏名又は名称】	キヤノン株式会社

## 【代理人】

申請人

【識別番号】	100076428
【住所又は居所】	東京都千代田区紀尾井町 3 番 6 号 秀和紀尾井町 パークビル 7 F 大塚国際特許事務所

【氏名又は名称】	大塚 康德
----------	-------

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100112508
【住所又は居所】	東京都千代田区紀尾井町 3 番 6 号 秀和紀尾井町 パークビル 7 F 大塚国際特許事務所

【氏名又は名称】	高柳 司郎
----------	-------

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100115071
【住所又は居所】	東京都千代田区紀尾井町 3 番 6 号 秀和紀尾井町 パークビル 7 F 大塚国際特許事務所

【氏名又は名称】	大塚 康弘
----------	-------

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100116894
【住所又は居所】	東京都千代田区紀尾井町 3 番 6 号 秀和紀尾井町 パークビル 7 F 大塚国際特許事務所

【氏名又は名称】	木村 秀二
----------	-------

特願 2 0 0 3 - 3 2 4 6 8 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 1 0 0 7 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号

氏 名

キャノン株式会社